

Stivelse kort fortalt - biologi, biokemi, evolution og forædling

Stivelse er en måde for planter at opbevare energi og biomasse. Der findes mange typer stivelse, som stammer fra forskellige planter. Stivelsens egenskaber afhænger af dens opbygning: molekyl størrelse, forgreninger og kædelængder. Gennem præcisionsforædling kan stivelsessyntesen således fintunes til at opnå tilønskede egenskaber.

Af Kim Henrik Hebelstrup, ph.d., lektor, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet og udviklingsdirektør, Plantcarb ApS

Stivelse er én af naturens måder at opbevare energi og biomasse fra fotosyntese på. Ligesom når mennesker står med problemet med at opbevare energi fra solceller, står planter med en tilsvarende udfordring. En udfordring, som de dog har løst på forbilledlig vis: ved en polymerisering af enheder af glukose bliver produktet af fotosyntese omdannet til makromolekyler, der samler sig i større enheder og bliver til 1-100 µm store stivelseskorn. Det er det oprensede pulver af disse stivelseskorn, vi kender som stivelse. Glukose (og heraf afledte sakkarider) kan igen frigøres fra stivelsen, ved at de udsættes for hydrolytiske enzymer, herunder enzymer af typen amylaser, der hydrolyserer α-glykosidbindingerne imellem kulstof-1 og kulstof-4 i enhederne af glukose i stivelse, den hyppigst forekommende type bindinger i stivelse. Glukose kan herefter forbrændes ved glykolyse, således at der frigøres energi til andre fysiologiske og biokemiske processer.

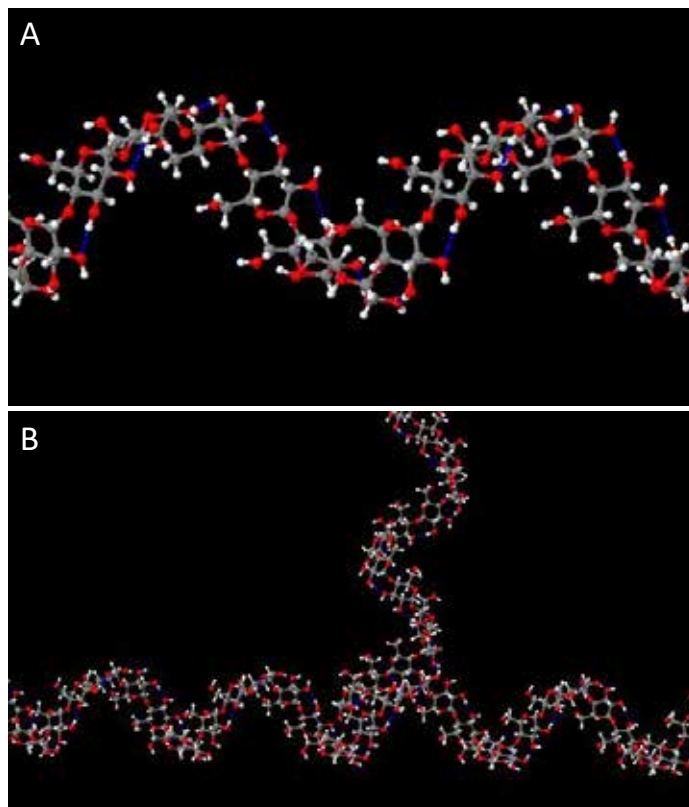
Biologi og evolution

Sammenligningen af planters fotosyntese med problematikken omkring opbevaring af energi fra solceller er relevant i det omfang, at den energi og den samhørende fikserede biomasse, der bindes ved fotosyntese, ikke nødvendigvis skal bruges i en plante udelukkende, når der er sollys og fotosyntesen er aktiv. Planter har også brug for energi om natten, eller i celler der ikke har adgang til egen fotosyntese. Her er der for eksem-

pel tale om celler i rødder, som er afhængige af at forbrænde sakkarider, der er dannet ved fotosyntese i andre organer, især blade. Der kan også være tale om en uoverensstemmelse i tid mellem, hvornår fotosyntese er tilgængeligt, og hvornår energi og bundet biomasse skal bruges. I dette tilfælde er stivelseskornet det lagringsmedie, som den biologiske evolution er kommet op med hos planterne som løsning. Vi ser det for eksempel i mange typer af plantefrø, hvor forskellige plantearter netop opbygger et lager af stivelse under frøudvikling for at kunne frigøre energi og biomasse til den næste generation flere måneder, eller måske endda flere år senere. Noget tilsvarende ses ofte i planteorganer under jorden, hvor rødder eller knolde kan opbygge et betydeligt lager af stivelse til brug måneder længere fremme.

I naturen er sådanne botaniske stivelsesholdige organer af energi og biomasse ikke blot en ressource for planterne selv, ►

ApodanNordic PharmaPackaging A/S
 Kigkurren 8M • 2300 Copenhagen S • Denmark
 +45 3297 1555
packaging@apodanpharma.dk • www.apodanpharma.dk
 Established in 1962



Figur 1. A) Lineære kæder af α -1,4-polymeriseret glukose udgør rygraden i strukturen af stivelse. På figuren ses et zoom på sådan en kæde. B) Ved introduktion af α -1,6-bindinger opstår forgreninger, som muliggør opbygningen af makromolekyler af amylopektin, som beskrevet i teksten. Amylopektin molekyler udgør som regel størstedelen af stivelse. De blåstribede linjer angiver hydrogenbindinger i både A og B.

men også for eventuelle dyr, som måtte finde adgang til at spise disse. Dyr og mennesker er ikke (eller i hvert fald ikke i egne celler) i stand til at danne enzymer, som nedbryder planters kulhydratbaserede fibre. Derimod har vi evnen til at danne amylaser og andre enzymer, som er med til at nedbryde stivelse. Netop derfor er det næppe et tilfælde, at det særligt er plantearter med meget stivelsesholdige organer, som af mennesker er blevet udvalgt til at blive dyrket og produceret i stor skala i landbrug. Denne udvælgelse af arter til brug i landbrug, kaldet domesticering, skete uafhængigt flere steder i verden til forskellige tidspunkter i oldtiden, i forskellige kulturer.

I området som betegnes "Den frugtbare halvmåne", og som i dag udgøres af en række lande i henholdsvis Nordafrika, Mellemøsten og Vestasien, blev en artsgruppe af vilde græsser over en lang periode for mere end 10.000 år siden over en meget lang periode indsamlet og med tiden også genplantet og derved dyrket af skiftende kulturer. Dette udviklede sig over tid til blandt andet til de arter, vi i dag kender som hvedetyperne emmer, durum, en Korn og brødhvede og til byg. I Østasien opstod rissorterne, i Mellemamerika kom majs til, og centralt i Sydamerika blev nogle vilde knolddannende arter af *Solanum*-slægten til det, vi i dag kender som kartofler. Alle har de det til fælles, at stivelse udgør en væsentlig del af de organer, vi høster fra dem, både som andel af biomassen og som andel af energifordelingen. Den øgede adgang til stivelse gennem landbrugets afgrøder har helt klart været en revolution og et afgørende punkt i menneskets historie. Og overgangen til landbrugssamfund regnes også som hele forudsætningen for oprindelse af egentlig civilisation med komplekse samfundstyper. Dog er det omdiskuteret, hvad der egentlig oprindeligt drev udbredelsen af

de stivelsesholdige afgrøder og den landbrugskultur, som de var en vigtig del af. Det diskuteres blandt andet om, hvorvidt det især var et særligt afledt produkt af stivelse, der var den vigtigste motivation for agerbrug: nemlig øl/alkohol. Alkohol, som dannes ved enzymatisk nedbrydning af stivelse til sakkarider og efterfølgende omdannelse til ethanol ved forgæring. Netop denne teori er genstand for et igangværende samarbejde mellem Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet og Nationalmuseet.

Det er i dette biologiske og forhistoriske lys, at vi skal forstå stivelsens kemi og biokemi. Netop fordi, at stivelse er resultatet af både en tilpasning til planters fysiologi og et resultat af menneskets udvælgelse og forædling af arter til dyrkning.

Biokemi og forædling

Biosyntesen af stivelse koordineres i planteceller af en række forskellige enzymer. Selve polymeriseringen bruger en aktiveret form af glukose: ADP-glukose, som dannes fra glukose-1-fosfat. En række forskellige stivelsessyntaser er derefter i stand til at udføre polymeriseringen ved dannelse af α -1,4-glykosidbindinger. Da disse bindinger har en lille drejning, former de polymeriserede kæder en helix-struktur (se figur 1A). Ud over α -1,4-glykosidbindinger er der i stivelse også en mindre andel af α -1,6-glykosidbindinger. Disse opstår, når stivelsesforgrenende enzymer bryder en α -1,4-glykosidbinding, for derefter at etablere en α -1,6-glykosidbinding i en eksisterende polyglukan-kæde. Derved opstår en forgrening i én af glukoseenhederne (se figur 1B).

Der skelnes grundlæggende mellem to fraktioner af polyglukaner i stivelse: amylose, som består næsten udelukkende af α -1,4-glykosidbindinger og kun ganske få α -1,6-glykosidbindinger. Molekyler af amylose består typisk af 100-10.000 glukoseenheder og amylose udgør ofte 20-30 procent af den samlede mængde stivelse. Den anden fraktion af polyglukaner i stivelse betegnes amylopektin. Molekylerne af amylopektin består typisk af >100.000 enheder af glukose og er derved væsentligt større end molekyler af amylose. Desuden er amylopektin meget forgrenet, idet α -1,6-glykosidbindingerne udgør omkring 5 procent af det samlede antal forgreninger. Således får molekylerne af amylopektin en stor gruppe af frie kædeender, hvorpå yderligere polymerisering kan foregå. De heliske kæder kan desuden indgå i forskellige typer af krystalliserede former. Tilsammen samler disse sig i de 1-100 μ m store stivelseskorn, som kan observeres med forskellige former for mikroskopi. Ud over stivelsessyntaser og stivelsesforgrenende enzymer er biosyntesen afhængig af en række hydrolyserende

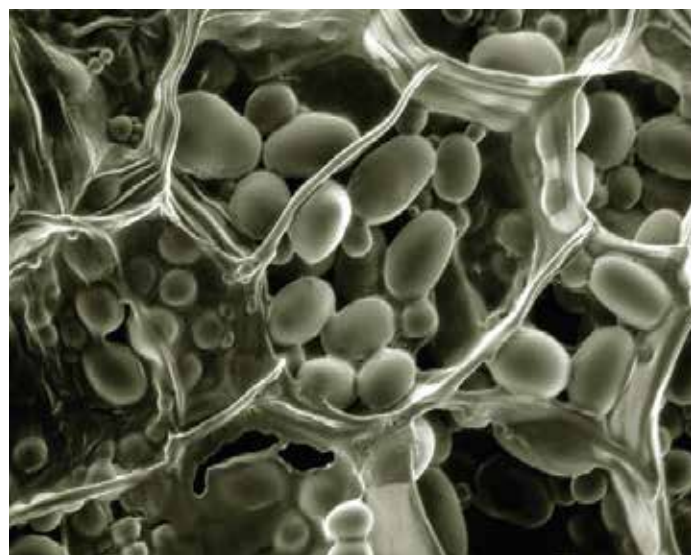


Foto: Wikimedia, Philippa Uwins.

enzymer, der ”trimmer” de forskellige glukose-kæder, særligt i amylopektin. Uden denne trimming opnår kæderne tilsyneladende ikke den samstemmende længde, som er nødvendig for en korrekt krystallisering og pakning af stivelseskæderne i stivelseskorn.

En anden egenskab ved stivelse er, at en gruppe af enzymer fosforylerer enkelte af glukose-enhederne i –OH grupper på kulstof-3 og kulstof-6 i glukoseenhederne i stivelseskæderne. Den præcise biokemiske og biologiske funktion af denne fosforylering er ikke entydig. Fosforylering synes dog ikke at være

essentiell for biosyntese af stivelseskæder og pakning af disse i stivelseskorn. Derimod spiller denne fosforylering muligvis en rolle for kinetikken i nedbrydning af stivelse med amylolytiske enzymer. Initiering af stivelseskorn, deres størrelse og form afhænger desuden af en række forskellige cellulære makromolekyler med stivelsesbindende egenskaber. Disse er helt essentielle for at orchestrere komplekser af de omtalte enzymer i stivelsessyntese med stivelseskorn og de cellulære organeller i hvilke, stivelsessyntesen foregår, herunder interaktionen med fotosyntese i bladceller, hvori stivelseskorn ophobes.

De enkelte komponenter i opbygningen af stivelse: molekylstørrelse, antal og placering af α -1,6-forgreninger og kædelængde på forgreningerne, pakning af heliske stivelseskæder og størrelse af stivelseskorn, udgør en nærmest uendelig mulighed for forskellige kombinationer. I denne sammenhæng er forholdet mellem aktiviteten af de enkelte enzymer i stivelsessyntesen afgørende for, hvilke egenskaber stivelse fra en særlig afgrøde eller sort oppebærer. Stivelser fra eksisterende kommercielle afgrøder og sorter udfylder kun en meget begrænset del af det rum, som er muligt ved de kombinationer, som kan opnås ved præcis forædling og udvælgelser af gener i stivelsessyntese. Netop brug af præcise forædlingsteknikker rummer en særlig mulighed for nøjagtigt at ”fintune” aktiviteten af de enkelte komponenter i stivelsessyntesen, for at skræddersy helt nye stivelsesstyper som i øjeblikket ikke er udforsket.

E-mail:

Kim Henrik Hebelstrup: kh@plantcarb.com

■ Amylose:

Størrelse: Typisk af 100-10.000 glukoseenheder.

Bindinger og forgreninger: Næsten udelukkende α -1,4-glykosidbindinger og kun ganske få α -1,6-glykosidbindinger.

Forekomst: Udgør typisk 20-30 procent af den samlede mængde stivelse, men kan også være både højere eller lavere.

■ Amylopektin:

Størrelse: Typisk >100.000 glukose-enheder.

Bindinger og forgreninger: α -1,6-glykosidbindinger udgør omkring 5 procent af det samlede antal forgreninger.



VI TAGER DIN ARBEJDSIKKERHED ALVORLIGT

ATEX-certificeret køle- og fryseskabe til miljøer hvor eksplosive gasser kan forekomme. Kontakt os for at høre hvorfor vi er førende indenfor sikker opbevaring i ATEX miljøer.

 **bioline**

Gram Commercial | Aage Grams Vej 1 | DK-6500 Vojens | Tlf. 7320 1300
info@gram-bioline.com | www.gram-bioline.com

GRAM
Biostorage you can depend on